

一种基于DSP控制的变电站所用电应急电源快速接入装置研究

史玉立¹, 罗皎虹²

(1. 常州刘国钧高等职业技术学校, 江苏 常州 213025;

2. 江苏省电力公司检修分公司常州运维站, 江苏 常州, 213025)

摘要: 变电站所用电采用备用电源时, 需要接入应急电源以保证供电安全, 现场检修人员接入应急电源的时间需要 50 min 左右, 耗时较长, 电路可靠性降低。采用 DSP 芯片研制了一套变电站所用电应急电源快速接入装置, 采用快速傅里叶算法(FFT)对相关电力参数进行跟踪, 在备用电源出现问题时可以在 3 min 之内自动接入应急电源, 并可自动通知维修人员, 使用方便可靠。该装置已在江苏电网多个变电站投入使用, 运行情况稳定。

关键词: 变电站所用电; 快速接入装置; 快速傅里叶变换; DSP

Research on a fast access device for substation emergency power supply based on DSP control

SHI Yuli¹, LUO Jiaohong²

(1. Changzhou Liu Guojun Vocational Technology College, Changzhou 213025, China; 2. Changzhou Operation and Maintenance Station of Jiangsu Electric Power Company Maintenance Branch, Changzhou 213025, China)

Abstract: When standby power supply is used in substation, emergency power supply is needed to ensure the safety of power supply. It takes about 50 minutes for on-site maintenance personnel to access emergency power supply, which takes a long time and reduces the reliability of the circuit. In this paper, DSP chip is used to develop a set of substation emergency power supply fast access device. Fast Fourier algorithm (FFT) is used to track the relevant power parameters. When there is a problem in the standby power supply, the emergency power supply can be automatically accessed within 3 minutes, and the maintenance personnel can be automatically informed. It is convenient and reliable to use. The device has been put into use in several substations of Jiangsu power grid, and the operation is stable.

Key words: substation power system; quick access device; fast Fourier transform(FFT); DSP

0 引言

变电站所用电供给变电所冷却器系统电源、断路器储能电源、开关和检修电源等装置, 当所用电出现故障时, 可能会导致设备误动作, 造成较严重的后果。当所用电因某种原因失去

电压时, 需要采用低压备自投装置将所用电自动、快速地切换到备用电源上, 从而确保所用电不间断, 其技术已较为完善^[1-4]。但当所用电仅靠备用电源供电时, 一旦备用电源出现故障, 则可能导致变电站全站交流失电, 甚至交直流全失。因此按照技术规范要求^[5], 当变电站

所用电采用备用电源供电时, 需要接入应急电源保障所用电的可靠性, 而接入应急电源的步骤较烦琐且耗时较长, 还存在检修人员易误碰带电设备等问题^[6-7]。

DSP 芯片可实现数字信号处理, 处理速度快, 响应正确率高, 且具有较高的抗电磁干扰能力, 在电力、通信和自动控制等领域得到了广泛应用^[8-10]。本文基于 DSP 芯片 TMS320F28335 研制了一套变电站应急电源快速接入装置, 接线简单, 且在所用电检修状态下, 一旦备用电源出现问题, 则可以在 3 min 之内自动接入应急电源, 并通知维修人员, 实现了电源的快速反应和快速接入, 提升了变电站所用交流电源系统的可靠性。

1 系统硬件设计

该变电站所用电应急电源快速接入装置可用于各类电压等级的变电站中, 现以 220 kV 变电站为例进行介绍。

220 kV 变电站站用电低压母线一般采用单母线分段的接线方式, 每段母线分别接至不同的站用电变压器, 引出相应的 I、II 段所用电电源供变电站内用电设备使用。所用电通过分段开关(刀开关)联络, I、II 段线路互为备用电源, 其简易接线方式如图 1 所示。当所用电 I 段出现故障时, 停电检修, 仅由 II 段单独供全站交流所用电, 所用电可靠性不能得到保证; 当所用电 II 段也出现问题时, 变电站面临所用电失电的风险, 此时要求检修人员敷设电缆, 将电缆接到所用电母线上, 手动接入应急电源, 整个工作耗时为 50 min 左右。

而设计应急电源快速接入装置, 在所用电有失电风险时, 将应急电源(一般为独立运行的柴油发电机)由快速接入装置接入所用电母联, 完成预接入, 由快速接入装置自行判断应急电源接入时机。例如若 II 段也发生故障跳闸, 则该装置能立即接收到信号, 并将应急电源切入, 保证了所用电的可靠运行。

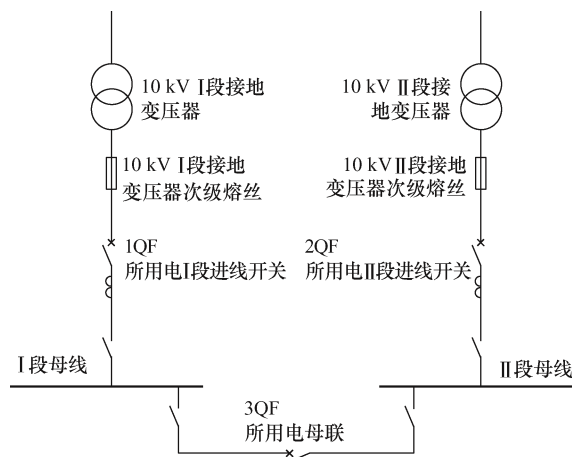


图 1 变电站所用电系统接线图

Fig. 1 Wiring diagram of substation power system

根据该变电站应急电源切入过程, 该控制系统主要由电压检测、电源投切控制及人机交互三部分组成, 系统总体设计框图如图 2 所示。

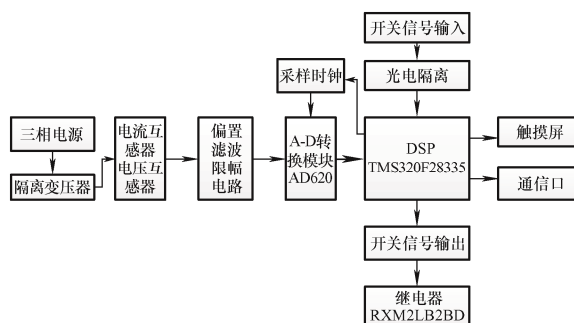


图 2 系统总体设计框图

Fig. 2 System overall design block diagram

1) 电压检测部分由变电站电压电流互感器监控系统母线电压、电流及位置信息, 经过信号调整电路进行偏置、滤波处理后传递至模数转换模块 AD620 芯片^[12-13]。该芯片将电压信号转换成脉冲信号, 与计数器连接实现 A-D 转换, 通过串口将数据传送至控制芯片数字信号处理器 TMS320F28335 芯片。

2) 电源投切控制部分由控制芯片 TMS320F28335 对检测到的信号进行处理, 监控变电站 I 段及 II 段母线的电压及开关位置情况, 将数据与存储器中的相关数据进行对比, 如果监控数据超出了阈值范围, 则根据 DSP 芯片中的信号判断程序对继电器 RXM2LB2BD 产生动作, 控

制合断路器投切智能发电机, 应急电源接入成功。

3) 人机交互部分由控制芯片将实时监控数据显示在触摸屏上, 同时可以通过界面上的按钮进行装置起停测试, 监测装置起动情况。同时在使用电失电、应急电源装置动作投入应急电源时, 控制芯片通过 SIM 卡进行信息传输, 将动作信息正确快速发送给运维检修人员, 通知工作人员尽快赶来现场处理。

2 信号的采集与处理

该应急电源快速接入装置需要实现对变电站 I 段及 II 段母线电压电流的实时监控, 从而判断应急电源投切时刻; 同时对应急电源发电机的电压、频率相关信息进行监控, 保证对监控信息的准确性和响应时间都有较高要求。而当母线电压发生故障时, 其暂态信号中含有谐波分量, 会造成电参量测量准确度出现偏差, 进而影响到应急电源投切时刻的可靠性。

为了提高交流采样准确度, 本文在采用高精度 A-D 转换模块 AD620 的同时, 采用快速傅里叶(FFT)算法对取得的数据进行处理^[14-16]。

以电压信号为例, 根据傅里叶展开, 将电压 $u(t)$ 分解为基波和各次谐波分量的形式, 展开如下

$$u(t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} [a_m \cos(m\omega t) + b_m \sin(m\omega t)] \quad (1)$$

其中

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (2)$$

$$a_m = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \cos(m\omega t) dt \quad (3)$$

$$b_m = \frac{2}{T} \int_0^T u(t) \sin(m\omega t) dt \quad (4)$$

式中, m 代表谐波的次数($m=1,2,3,\dots$)。

设 DSP 芯片通过 A-D 转换模块对 $u(t)$ 每个周期均匀同步采样数据获得的 N 个有限的离散采样值, 得到数值为 $u(n)$, 默认 $N=2^m$, 则满足采样定律时, 序列 $u(n)$ 的离散傅里叶变换 DFT 为

$$\begin{aligned} U(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cos\left(\frac{2\pi}{N} kn\right) - \\ &\quad j \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \sin\left(\frac{2\pi}{N} kn\right) = \sum_{n=0}^{N-1} u(n) W_N^{kn} = \\ &\quad \sum_{n=0}^{N-1} u(n) e^{-j\frac{2\pi}{N} kn} \quad k=0,1,\dots,N-1 \end{aligned} \quad (5)$$

式中, $W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$ 为旋转因子。

式(3)和式(4)离散化后可得

$$a_m = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \cos\left(\frac{2\pi}{N} mn\right) \quad (6)$$

$$b_m = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u(n) \sin\left(\frac{2\pi}{N} mn\right) \quad (7)$$

当 $m=k$ 时, 有

$$a_m = \frac{2}{N} \operatorname{Re}[U(k)] \quad (8)$$

$$b_m = \frac{2}{N} \operatorname{Im}[U(k)] \quad (9)$$

可从以上数据计算中滤除谐波分量, 得到电压信号中的基频分量。

采用 FFT 算法进行数据处理时将 N 点 DFT 细分为两个 $N/2$ 点 DFT 后处理, 按照时域抽取 FFT 运算得到

$$\begin{aligned} U(k) &= \sum u(n) W_N^{kn} \\ &= \sum u(2r) W_N^{2rk} + \sum u(2r+1) W_N^{(2r+1)k} \\ &= \sum u_1(r) W_N^{rk} + W_N^k \sum u_2(r) W_N^{rk} \\ &= U_1(k) + W_N^k U_2(k) \end{aligned} \quad (10)$$

该式为 $U(k)$ 前半部分的值, 其中 $r=0, 1, \dots, \frac{N}{2}-1$ 。

由于旋转因子 $W_{N/2}^{N/(2+k)} = W_{N/2}^{rk}$, 且有 $U(k) = U_1(k) + W_N^k U_2(k)$, $W_{N/2}^{N/(2+k)} = W_N^{N/2} W_N^k = -W_N^k$, 可推导出

$$U(k + N/2) = U_1(k) - W_N^k U_2(k) \quad (11)$$

式中, $k=0,1,\dots,\frac{N}{2}-1$ 。

其计算过程如图 3 所示, 可见在计算 $U(k)$ 时只需要得到两个 $N/2$ 点得 DFT 后根据蝶形运算即可, 降低了 FFT 频谱分析运算量, 加快了处理速度。

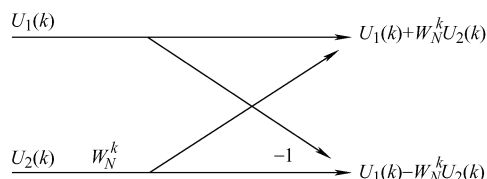


图 3 FFT 运算关系图

Fig. 3 The operation diagram of FFT

DSP 芯片可用汇编或 C 语言编程实现数据处理, 具有成本低、可实现复杂数据运算的优点。FFT 算法主要需要实现如下几个过程: 测得数据单点在时域范围内进行分解、单点数据于时域计算频谱和数据频域。将以上过程分解为编程语言主要需要实现如下三个循环: 外循环-分解次数、中循环-sub-DFT 运算和内循环-两点蝶形算法。其算法流程图如图 4 所示。

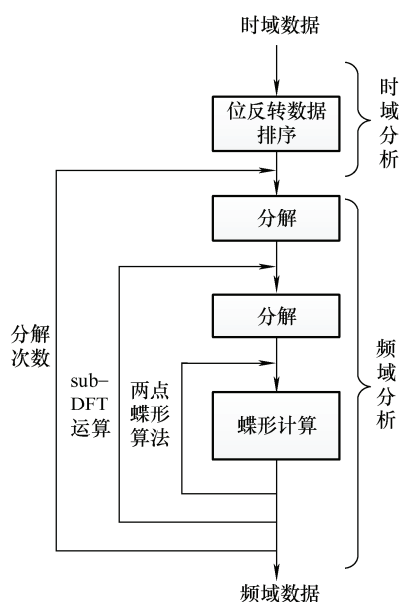


图 4 DSP 中 FFT 算法逻辑图

Fig. 4 Logic diagram of FFT algorithm in DSP

3 系统软件设计

应急电源快速接入装置投切时刻的判定, 需

要考虑到变电站所用电的所有异常情况, 还需要考虑发电机产生的电能质量是否符合站用电可以接入标准^[17-20]。以图 1 所示站用电系统接线图为例进行讨论, 在该所用电接线方式下, 采集 1QF、2QF、3QF 的开关位置量, 1QF、2QF 开关上的电流值, 以及 I 段母线、II 段母线的电压量, 并将应急电源由快速接入装置采用继电器接入所用电母联, 按照所用电接线方式以及装置各部分组成, 得到该装置一次系统接线示意图, 如图 5 所示。

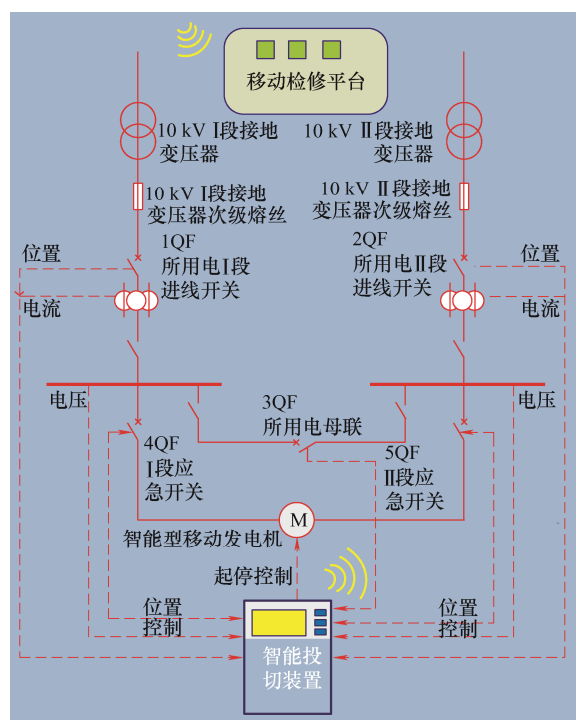


图 5 一次系统接线图

Fig. 5 The wiring diagram of primary system

快速接入装置中的控制芯片对经数据采集模块获取所用电系统中的母线电压、断路器位置等各状态量, 经快速傅里叶算法处理后, 根据获得的各项参数完成判断, 当 I 段母线或 II 段母线任意一段出现故障时, 将控制命令发送至各对应 I 段或 II 段应急开关执行, 立即完成外接应急电源 (独立发电柴油机装置) 接入, 替代出现故障的那部分母线对站用电进行供电, 并通过通信模块将动作信息发送至手机。当正确接入时, 即向手机发送“接入成功短信”。其程序判断流程图如图 6

所示。

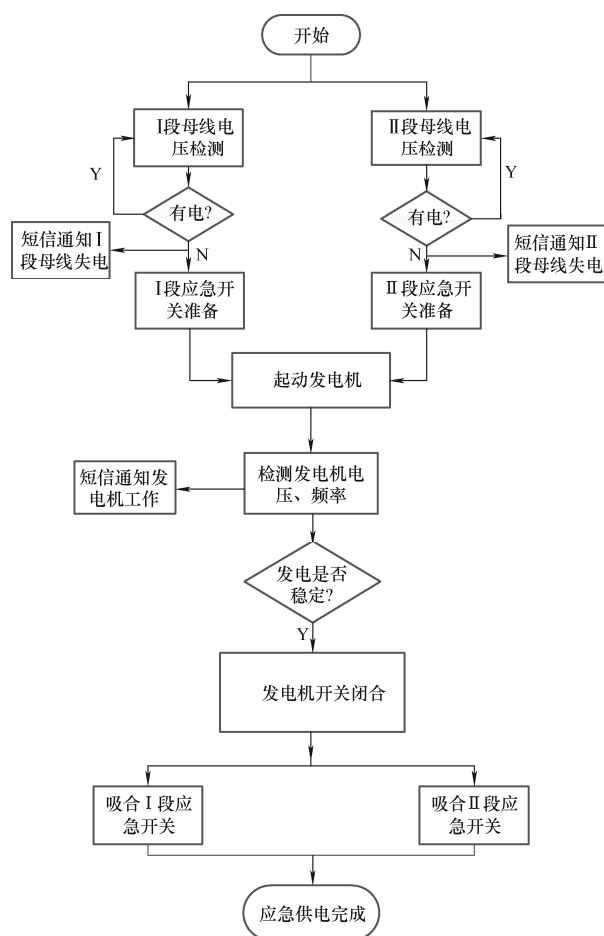


图6 应急电源快速接入装置逻辑图

Fig. 6 The logic diagram of emergency power supply quick access device

同时采用触摸屏显示系统运行时的各种参数, 获得人机交互数据, 并将故障数据及信息及时保存, 以方便监控人员进行故障判断并完成排除。

4 使用效果

将装置接入220 kV变电站所用电系统中进行倒闸操作并模拟故障情况, 发现该装置对交流失电信号能达到100%接收、应急电源100%起动, 且装置起动时间 ≤ 3 min。

220 kV白荡变电站由于投运时间长, 设备存在一定的老化情况, 交直流系统供电可靠性相对薄弱, 故于2019年7月1日将220 kV变电站应

急电源快速接入装置装入白荡变电站, 接入电源能够正常使用, 如图7所示。



图7 装置现场应用图

Fig. 7 The field application of the device

220 kV运村变电站在2019年9月份时发生35 kV母线进线侧开关烧毁事故, 检修时间持续了四天, 单母线供电导致所用电系统相对薄弱, 此时检修人员将发电车和安装在白荡变电站的应急电源快速接入装置拉至现场, 实现了应急电源的预接入。

而在为期四天的检修过程中, 单供母线出现了进线开关误跳的情况, 应急电源快速接入装置动作, 确保了所用电供电的可靠性。

从2019年7月1日~11月10日共133天, 220 kV应急电源快速接入装置共发出1次母线失电报警短信, 应急电源起动次数为1次, 平均用时124 s, 装置动作时间 ≤ 3 min, 装置动作正确率100%。

5 结束语

变电站应急电源快速接入装置采用自动控制代替人工操作, 将原先的50 min恢复供电时间缩减到3 min之内, 基本确保了负荷的连续供电, 也确保了所用电供电可靠性, 有效解决了所用电进线电源无法供电而导致的全站交流失电、甚至交直流全失电的重大隐患, 提高了电力系统设备运行的可靠性及供电的连续性; 避免了所用电交直流全失。

同时该装置的使用提高了变电站所用电供电可靠性, 同时使运检人员能够实时、直接地了解应急电源系统的运行情况, 并及时对电站应急电源发出的报警作出相应的处理, 变被动为主动, 减轻了操作人员的劳动强度, 切实提高了无人值守电

站的安全运行管理水平,使变电站管理进一步向电力管理智能化、自动化、综合化和集中化方向发展^[10]。该变电站应急电源快速接入装置的研制填补了当前技术与市场的空缺,目前已获得了国网江苏省电力公司的认可,并已在江苏省电网范围内推广应用。**EA**

参考文献

- [1] 郭升,童晓阳.智能变电站线路保护系统检修周期的优化方法研究[J].电网技术,2020,44(2):484-495.
- [2] 胡绍谦,李力,朱晓彤,等.基于检修态切换的智能变电站保护设备检修辅助安全措施[J].电力系统自动化,2019,43(1):242-249.
- [3] 蔡峰,王东,付珍.配电网电能质量问题治理综述[J].智能电网,2016,4(11):1136-1140.
- [4] 国家电网.国网运检部关于开展站用交直流电源专项隐患排查的紧急通知[S].2016.
- [5] 电能质量监测设备通用要求:GB/T 19862—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [7] WU Jinyu, GAO Jinwei, ZHANG Shuai. Measures of conventional backup power switchover unit adapted to double-bus scheme[J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(5): 112-115.
- [8] 佟为明,佟春天,陈培友,等.基于DSP+ARM双核系统的电能质量检测装置设计[J].电测与仪表,2019,56(18):99-106.
- [9] 杨亮,吕志鹏,于新蕊.基于DSP的水电配电系统双电机协调控制方法[J].水电能源科学,2020,38(12):161-164,152.
- [10] 陈月卿,陈建洪,邱建斌,等.一种智能变电站监控信息自动验收系统的研究[J].电力系统保护与控制,2020,48(11):113-150.
- [11] 韩海安,彭宇翔,薛建立,等.高精度多通道同步采样系统[J].仪表技术与传感器,2019(4):44-47.
- [12] 渐欢,全大英,侯晓宇,等.多通道高速信号采集器[J].仪表技术与传感器,2020(11):44-49.
- [13] 王萍,聂雪芳,王巍.一种多制式通信信号处理模块的设计[J].天津工业大学学报,2020,39(3):69-76.
- [14] 陈紫阳,胡庆芳,雍斌,等.基于快速傅里叶变换的降水空间变异函数有效性验证[J].水资源保护,2020,36(3):22-27.
- [15] 王薇,殷勤业,姚博彬,等.结合快速傅里叶变换和线性调频变换的快速波达方向估计[J].西安交通大学学报,2019,53(12):131-138,160.
- [16] 杨喜,汪旭明,陈炳权,等.基于谱序列变换的高精度谐波参数估计算法[J].中南大学学报(自然科学版),2020,51(9):2504-2513.
- [17] 黄晓明,黄志华,张华娇,等.变电站整站二次设备就地化及运维方案研究[J].电力系统保护与控制,2019,47(5):173-178.
- [18] 胡绍谦,李力,朱晓彤,等.基于检修态切换的智能变电站保护设备检修辅助安全措施[J].电力系统自动化,2019,43(1):242-249.
- [19] 孙海波.基于ARM的电能质量监测系统的研究与设计[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2017.
- [20] 李宽宏.变电站二次设备防误风险管控系统实现方案[J].电力系统自动化,2020,44(17):95-101.

作者简介:



史玉立

史玉立(1987—),女,工学硕士,讲师,研究方向为电力系统自动化、电气自动化应用等。

(收稿日期:2021-12-10)